

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-006931

(43)Date of publication of application : 12.01.2001

(51)Int.Cl.

H01F 10/14

G11B 5/31

H01F 41/26

(21)Application number : 11-173895

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 21.06.1999

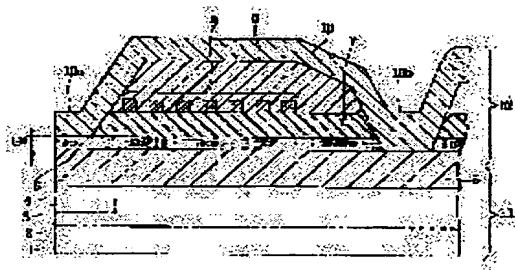
(72)Inventor : YAZAWA HISAYUKI
KANEDA YOSHIHIRO
NAKAJIMA HIROAKI

(54) SOFT MAGNETIC FILM, ITS MANUFACTURE, AND THIN FILM MAGNETIC HEAD USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a soft magnetic film and its manufacturing method which can increase especially the saturation magnetic flux density of NiFe alloy and at the same time can decrease the coercive force Hc, and a thin film magnetic head which can cope with high packing density and high recording frequency by applying the soft magnetic film to a core layer.

SOLUTION: By forming an Ni-Fe alloy by an electroplating method using a pulse current, the mean crystal grain diameter of the Ni-Fe alloy film can be made 105 Å or smaller, and the composition ratio of Fe can be set in the range from 60 wt.% to 75 wt.%. The Ni-Fe alloy film formed by the above plating has high saturation magnetic flux density and low resistivity. By using the Ni-Fe alloy film as a lower core layer 5 and/or an upper core layer 10, a thin film magnetic head capable of coping with high packing density can be formed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.05.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 26.08.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-18575

[Date of requesting appeal against examiner's] 24.09.2003

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the soft magnetism film which an empirical formula is shown by nickel1-XFeX, and the diameter of average crystal grain is 105A or less, and is characterized by moreover the presentation ratio X of Fe being 60wt% to 75wt(s)% of within the limits.

[Claim 2] Said diameter of average crystal grain is soft magnetism film according to claim 1 which is 100A or less.

[Claim 3] Said presentation ratio of Fe is soft magnetism film according to claim 1 or 2 which is more than 67wt%.

[Claim 4] The center line average of roughness height (Ra) of the film surface of said soft magnetism film is soft magnetism film according to claim 1 to 3 which is 25A or less.

[Claim 5] The center line average of roughness height (Ra) of the film surface of said soft magnetism film is soft magnetism film according to claim 4 which is 15A or less.

[Claim 6] The saturation magnetic flux density Ms of said soft magnetism film is soft magnetism film according to claim 1 to 5 which is more than 1.6T.

[Claim 7] The saturation magnetic flux density Ms of said soft magnetism film is soft magnetism film according to claim 6 which is more than 1.8T.

[Claim 8] The coercive force Hc of said soft magnetism film is soft magnetism film according to claim 1 to 7 which is 1.5 or less Oes.

[Claim 9] The coercive force Hc of said soft magnetism film is soft magnetism film according to claim 8 which is 1.0 or less Oes.

[Claim 10] Said soft magnetism film is soft magnetism film according to claim 1 to 9 currently formed of plating.

[Claim 11] The manufacture approach of the soft magnetism film that an empirical formula is characterized by carrying out plating formation of the soft magnetism film shown by nickel1-XFeX by the electroplating method using pulse current.

[Claim 12] The manufacture approach of the soft magnetism film according to claim 11 which makes the diameter of crystal grain of the soft magnetism film 105A or less, and moreover forms the presentation ratio X of Fe at 60wt% to 75wt(s)%.

[Claim 13] The manufacture approach of the soft magnetism film according to claim 12 which forms said diameter of average crystal grain by 100A or less.

[Claim 14] The manufacture approach of the soft magnetism film according to claim 12 or 13 which forms said presentation ratio of Fe more than at 67wt%.

[Claim 15] The manufacture approach of the soft magnetism film according to claim 12 to 14 which forms the center line average of roughness height (Ra) of the film surface of said soft magnetism film by 25A or less.

[Claim 16] The manufacture approach of the soft magnetism film according to claim 15 which forms the center line average of roughness height (Ra) of the film surface of said soft magnetism film by 15A or less.

[Claim 17] It is the thin film magnetic head characterized by being formed with the soft magnetism film with which said up core layer and/or the lower core layer were indicated by claim 1 thru/or either of 10 in the thin film magnetic head which has said lower core layer, the up core layer which counters through a magnetic gap, and the coil layer which guides a record field to both core layers at the lower core layer made from a magnetic material, and an opposed face

with a record medium.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the thin film magnetic head using the soft magnetism film which is applied to the soft magnetism film used as a core layer of for example, the thin film magnetic head, especially has the soft magnetic characteristics of the high saturation magnetic flux density M_s and the low coercive force H_c , its manufacture approach, and this soft magnetism film.

[0002]

[Description of the Prior Art] For example, the thin film magnetic head is prepared at the tip of a gimbal, and said thin film magnetic head is constituted from an inductive head for writing, and an MR head for reading by the magnetic head carried in a hard disk etc.

[0003] Said inductive head has the up core layer which generally counters the lower core layer formed with the magnetic material, and said lower core layer through a nonmagnetic gap layer, and a coil layer for guiding a record field to both core layers, and is constituted. In the former, said up core layer and the lower core layer were formed with the existing magnetic materials, such as nickel-Fe alloy film (permalloy).

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, in the former, plating formation of said nickel-Fe alloy film was carried out by the electroplating method which used a direct current. And generally, said presentation ratio of Fe is made into about 45-55wt%, and saturation magnetic flux density M_s of said nickel-Fe alloy film can be made into 1.5T (tesla) extent at the maximum in this case.

[0005] However, in order to raise recording density with a raise in future recording density, the soft magnetism film which has the still higher saturation magnetic flux density M_s is demanded.

[0006] As an approach of raising said saturation magnetic flux density M_s , it is possible to make [more / still] the presentation ratio of Fe. then, the electroplating method using a direct current like before -- the presentation ratio of Fe -- about 67 -- if it is made [many] to about wt% -- saturation magnetic flux density M_s -- about 1.8 -- although being raised to about T was checked by the experiment mentioned later, even if it made [more] the presentation ratio of Fe than 67wt(s)%, it turned out that said saturation magnetic flux density M_s does not become large any more.

[0007] And when the presentation ratio of Fe was made [more / than abbreviation 62wt%] by the electroplating method using a direct current, it was checked that big and rough-ization of the diameter of crystal grain becomes remarkable, and the field dry area of a film surface becomes severe. And the problem that coercive force H_c will become large rapidly occurs by such big-and-rough-izing and a field dry area of the diameter of crystal grain.

[0008] Thus, by the electroplating method using a direct current, even if it makes [many] the amount of Fe(s) occupied in the nickel-Fe alloy film, it is difficult to obtain appropriately the saturation magnetic flux density M_s with high extent which can respond to future high recording density-ization, and is making [many] the amount of Fe(s) moreover, and coercive force H_c will go up. In order to realize future high recording density-ization, while it has the high saturation magnetic flux density M_s , there is the need of making coercive force H_c small.

[0009] This invention is for solving the above-mentioned conventional technical problem, and

while especially saturation magnetic flux density M_s of a NiFe alloy can be made high, it aims at offering the thin film magnetic head which can respond to a raise in recording density, and quantity record frequency-ization by using the soft magnetism film which can make coercive force H_c low, its manufacture approach, and this soft magnetism film for a core layer.

[0010]

[Means for Solving the Problem] As for the soft magnetism film of this invention, an empirical formula is shown by $\text{nickel}1\text{-XFeX}$, the diameter of average crystal grain is 105A or less, and, moreover, the presentation ratio X of Fe is characterized by being 60wt% to 75wt(s)% of within the limits.

[0011] As for said diameter of average crystal grain, by the soft magnetism film in this invention, it is desirable that it is 100A or less.

[0012] Moreover, as for said presentation ratio of Fe, in this invention, it is desirable that it is more than 67wt%.

[0013] Furthermore, in this invention, as for the center line average of roughness height (Ra) of the film surface of said soft magnetism film, it is desirable that it is 25A or less, and it is 15A or less more preferably.

[0014] The saturation magnetic flux density M_s of said soft magnetism film by which plating formation was carried out under the above-mentioned conditions is more than 1.6T, and the saturation magnetic flux density M_s of said soft magnetism film is more than 1.8T preferably. According to this invention, it is possible to make said saturation magnetic flux density M_s into about 1.9T at the maximum.

[0015] Moreover, as for the coercive force H_c of said soft magnetism film, in this invention, it is desirable that they are 1.5 or less Oes. They are 1.0 or less Oes more preferably.

[0016] Moreover, as for said soft magnetism film, in this invention, being formed of plating is desirable.

[0017] Moreover, the manufacture approach of the soft magnetism film in this invention is characterized by an empirical formula carrying out plating formation of the soft magnetism film shown by $\text{nickel}1\text{-XFeX}$ by the electroplating method using pulse current.

[0018] In this invention, by the electroplating method which used said pulse current, the diameter of crystal grain of the soft magnetism film can be made into 105A or less, and, moreover, the presentation ratio X of Fe can be formed at 60wt% to 75wt(s)%.

[0019] In addition, it is desirable to form said diameter of average crystal grain by 100A or less by this invention.

[0020] Moreover, it is desirable to form said presentation ratio of Fe in this invention more than at 67wt%.

[0021] Moreover, in this invention, it is desirable to form the center line average of roughness height (Ra) of the film surface of said soft magnetism film by 25A or less, and it is forming by 15A or less more preferably.

[0022] Furthermore in the thin film magnetic head in which this invention has said lower core layer, the up core layer which counters through a magnetic gap, and the coil layer which guides a record field to both core layers, said up core layer and/or a lower core layer are characterized by being formed with the soft magnetism film mentioned above at the lower core layer made from a magnetic material, and an opposed face with a record medium.

[0023] The empirical formula of the soft magnetism film in this invention is shown by $\text{nickel}1\text{-XFeX}$. Here, nickel and Fe are elements which bear magnetism.

[0024] In this invention, the high saturation magnetic flux density M_s is securable adjusting the presentation ratio (wt%) of Fe occupied in the diameter of average crystal grain of the nickel-Fe alloy film, and said soft magnetism film to fitness compared with the former. According to this invention, it is checked by the experiment whose thing which can be carried out highly mentions said saturation magnetic flux density M_s later even to about 1.9T at the maximum.

[0025] And in this invention, while saturation magnetic flux density M_s can be raised, it is possible to also make coercive force H_c small.

[0026] However, if especially the coercive force H_c does not receive effect only in the diameter of average crystal grain, and the presentation ratio of Fe and the center line average of roughness height (Ra) of a film surface is not rationalized, it is checked by the experiment which

that said coercive force H_c cannot be more certainly made small mentions later.

[0027] It is desirable to make the diameter of average crystal grain of the nickel-Fe alloy film into 105Å or less, to set the presentation ratio of Fe moreover occupied in the film as 60wt(s)% to 75wt(s)% of within the limits in this invention, and to make the center line average of roughness height (R_a) of a film surface into 25Å or less further.

[0028] Thereby, the saturation magnetic flux density M_s of said soft magnetism film becomes more than 1.6T (tesla), and can obtain the saturation magnetic flux density M_s beyond 1.8T preferably. And in this invention, coercive force H_c can be preferably set below to 1.5Oe(s) (oersted) at 1.0 or less Oes.

[0029] As mentioned above, even if it makes [many / to 75wt(s)% / from 60wt%] the presentation ratio of the amount of Fe(s), while saturation magnetic flux density M_s can be raised, by this invention, the electroplating method which used pulse current can be shown as the manufacture approach of the nickel-Fe alloy film which can make coercive force H_c low.

[0030] Although the electroplating method which used a direct current was used in the former, in this invention, it replaces with a direct current, and by using the electroplating method using pulse current, even if it makes [many] the presentation ratio of Fe, in addition, the diameter of average crystal grain and the center line average of roughness height (R_a) of a film surface can be made small, and it enables this to secure the high saturation magnetic flux density M_s and the low coercive force H_c . Moreover, specific resistance can also be kept comparable as the conventional nickel-Fe alloy film by the electroplating method using a direct current.

[0031] As mentioned above, saturation magnetic flux density M_s is high, moreover maintains the low coercive force H_c and the high specific resistance ρ , and is using the soft magnetism film with a still smaller field dry area by this invention as the lower core layer and/or up core layer of the thin film magnetic head (inductive head). It is possible for this to manufacture the thin film magnetic head which can respond also to future raise in recording density and quantity record frequency-ization.

[0032]

[Embodiment of the Invention] Drawing 1 is drawing of longitudinal section of the thin film magnetic head of the operation gestalt of this invention. In addition, the end face on the left-hand side of [illustration] the thin film magnetic head shown in drawing 1 is an opposed face with a record medium.

[0033] The thin film magnetic head in this invention is formed in the trailing side edge side of the slider which constitutes a surfacing type head, and is MR / inductive compound-die thin film magnetic head (only henceforth the thin film magnetic head) to which the laminating of MR head h1 and the inductive head h2 for writing was carried out.

[0034] MR head h1 detects the leak field from record media, such as a hard disk, using a magneto-resistive effect, and reads a record signal. The lower shielding layer 1 made from soft magnetic materials is formed in the trailing side edge side of said slider.

[0035] As shown in drawing 1, on said lower shielding layer 1, the magneto-resistive effect component layer 3 is formed through the lower gap layer 2 formed of non-magnetic materials, such as aluminum 2O3 (alumina). In addition, said magneto-resistive effect component layer 3 is GMR structure represented by the spin bulb film using the AMR structure or giant magneto-resistance.

[0036] On said magneto-resistive effect component layer 3, the lower core layer 5 which combines the shielding function in MR head h1 and the core function in an inductive head h2 is formed through the up gap layer 4 made from a non-magnetic material.

[0037] As furthermore shown in drawing 1, on said lower core layer 5, the magnetic gap layer (non-magnetic material layer) 6 by an alumina etc. is formed. Furthermore on said magnetic gap layer 6, the coil layer 8 by which pattern formation was carried out so that it might become spiral superficially through the insulating layer 7 made from polyimide or a resist ingredient is formed. In addition, said coil layer 8 is formed with the nonmagnetic conductivity ingredient with small electric resistance, such as Cu (copper).

[0038] Furthermore, said coil layer 8 is surrounded by the insulating layer 9 formed with polyimide or a resist ingredient, and the up core layer 10 made from soft magnetic materials is formed on said insulating layer 9.

[0039] As shown in drawing 1, in the opposed face with a record medium, it counters through said magnetic gap layer 6 on the lower core layer 5, and, as for point 10a of said up core layer 10, the magnetic gap of the magnetic gap length G11 is formed, and end face section 10b of the up core layer 10 is magnetically connected with the lower core layer 5, as shown in drawing 1.

[0040] There is the need of raising saturation magnetic flux density M_s maintaining especially the soft magnetic characteristics of the up core layer 10 at the low coercive force H_c , in order to be able to respond to future raise in recording density and quantity record frequency-ization and to raise the engine performance of the writing of an inductive head h2. Moreover, when a record frequency rises, in order to reduce eddy current loss, there is also the need of making specific resistance ρ to some extent high.

[0041] Moreover, also in the lower core layer 5, it is desirable to be formed by the soft magnetism film which has many soft magnetic characteristics of the high specific resistance ρ and the low coercive force H_c . Although the high thing of the saturation magnetic flux density M_s of the lower core layer 5 is desirable, if flux reversal of the leak field between the lower core layer 5 and the up core layer 10 is made easy to carry out by making it lower than the saturation magnetic flux density M_s of the up core layer 10, it is known that the write-in consistency of the signal to a record medium can be made high more.

[0042] By this invention, the empirical formula of the soft magnetism film used as the lower core layer 5 and/or an up core layer 10 is shown by nickel1-XFeX.

[0043] And as for said soft magnetism film in this invention, the diameter of average crystal grain is formed below in 105Å (angstrom). Said diameter of average crystal grain is measured from the diffraction profile half-value width of an X diffraction. In addition, it is more desirable in said diameter of average crystal grain being 100Å or less in this invention.

[0044] Furthermore by this invention, the presentation ratio X of Fe is set as 60wt% to 75wt(s)% of within the limits. In addition, the range of said presentation ratio of Fe is high compared with the presentation ratio (about 55 wt(s)%) of the nickel-Fe alloy in the former. Moreover, it is desirable to carry out said presentation ratio of Fe more than 67wt% in this invention.

[0045] Thus, in this invention, while saturation magnetic flux density M_s can be raised by making the diameter of average crystal grain detailed to 105Å or less, and moreover setting the presentation ratio of Fe as 60wt% to 75wt(s)% of within the limits, it is possible to reduce coercive force H_c .

[0046] Moreover, it is desirable to make the center line average of roughness height (R_a) in a film surface into 25Å or less in this invention. Said coercive force H_c is checked by the experiment which that coercive force H_c becomes large mentions later, if effect is received not only in the diameter of average crystal grain, and the presentation ratio of Fe but in the value of the center line average of roughness height (R_a) and said center line average of roughness height (R_a) becomes large.

[0047] So, in this invention, it is specifically making the diameter of average crystal grain of the nickel-Fe alloy film and presentation ratio chisel ** of Fe, and the center line average of roughness height (R_a) small to 25Å or less, and it becomes possible to aim at the fall of coercive force H_c more certainly. In addition, being set as 15Å or less is the point that coercive force H_c can be reduced further, and said center line average of roughness height (R_a) has it. [more desirable]

[0048] By this invention, the saturation magnetic flux density M_s of said nickel-Fe alloy film can be more preferably raised more than 1.8T more than by 1.6T (tesla) as mentioned above by adjusting the diameter of average crystal grain of the nickel-Fe alloy film, the presentation ratio (wt%) of Fe occupied on the nickel-Fe alloy film, and the center line average of roughness height (R_a) of a film surface to fitness within the above-mentioned range of number. It is possible to raise said saturation magnetic flux density M_s even to about 1.9T at the maximum especially in this invention.

[0049] It is possible to set preferably 1.5 or less Oes of coercive force H_c to 1.0 or less Oes by this invention furthermore.

[0050] Moreover, in this invention, plating formation of the nickel-Fe alloy film is carried out by the electroplating method using pulse current, and according to this approach, specific resistance ρ can be set up within the limits of 30micro ohm-cm to 45micro ohm-cm so that it

may mention later. This value is almost comparable as the specific resistance ρ of the nickel-Fe alloy film by which plating formation was carried out by the electroplating method using a direct current like before, and high compared with the specific resistance ρ of the soft magnetism film which contained Co on the nickel-Fe alloy film.

[0051] Thus, it is possible to manufacture the thin film magnetic head which can respond to a raise in future recording density and high record frequency-ization by having the high saturation magnetic flux density M_s , and using the nickel-Fe alloy film which can make coercive force H_c small further for the lower core layer 5 and/or the up core layer 10 of the thin film magnetic head. Moreover, since specific resistance ρ can be set as a to some extent high value in this invention, it is also possible to aim at appropriately reduction of the eddy current loss by a record frequency becoming high.

[0052] Moreover, the soft magnetism film in this invention has the small center line average of roughness height (Ra) of the film surface, and it is easy to form the up core layer 10 and/or the lower core layer 5 which were formed especially by said soft magnetism film near an opposed face (side face on the left-hand side of [which is shown in drawing 1] illustration) with the record medium to which it is specified as the width of recording track in a predetermined configuration proper from said film surface have little generating of a field dry area, and while it has been good, it can maintain a recording characteristic.

[0053] By the way, in this invention, if the presentation ratio of Fe which is carrying out plating formation by the electroplating method which used pulse current, and occupies the nickel-Fe alloy film in said nickel-Fe alloy film according to this approach is made [many], in connection with it, saturation magnetic flux density M_s can be raised proper, and it is possible to set the diameter of average crystal grain, and the center line average of roughness height (Ra) of a film surface as a small value moreover.

[0054] it is this approach although plating formation of the nickel-Fe alloy film was carried out in the former by the electroplating method which used a direct current — the amount of Fe(s) of the nickel-Fe alloy film — to some extent — alike — until — if it is made [many], when saturation magnetic flux density M_s will not go up and the amount of Fe(s) moreover increases, the diameter of crystal grain will make it big and rough, and a field dry area will become severe. And coercive force H_c will become large by big-and-rough-izing and the field dry area of the diameter of crystal grain.

[0055] Adjustment of the presentation ratio of Fe occupied on the nickel-Fe alloy film is performed by adjustment of the concentration of Fe ion occupied during a plating bath, and in order to make [many] the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film, it has the need of enlarging concentration of Fe ion occupied during a plating bath.

[0056] However, if the concentration of Fe ion under plating bath is increased and electroplating of the plating formation is carried out using a direct current in order to increase the presentation ratio of Fe, a bias occurs in distribution of the current density to the nickel-Fe alloy film at the time of plating formation, and a current will flow continuously intensively to a certain plating side. And the bias of such current distribution becomes the cause of promoting big and rough-ization of the diameter of crystal grain, and when said diameter of crystal grain makes it big and rough, an opening becomes easy to produce it in the plating film.

[0057] So, in this invention, it replaces with a direct current and the electroplating method using pulse current is used. That is, ON/OFF of a current controlling element is repeated, for example, and the time amount which passes a current at the time of plating formation, and the blank time amount which does not pass a current are established. Thus, it is possible to carry out plating formation of the nickel-Fe alloy film little by little, to compare by establishing the time amount which does not pass a current, when a direct current is used like before, even if it increases the concentration of Fe ion occupied to a plating bath, and to ease the bias of distribution of the current density at the time of plating formation.

[0058] In this invention, since the bias of distribution of the current density at the time of plating formation can be reduced by the electroplating method which used pulse current, big and rough-ization of the diameter of crystal grain can be eased, it becomes possible to make the opening in the plating film small moreover, and the field dry area in a film surface can be made small.

[0059] However, in order to promote detailed-ization of the diameter of crystal grain of the

nickel-Fe alloy film appropriately and to control a field dry area, there is the need of rationalizing the conditions of said pulse current.

[0060] For example, as for said pulse current, it is desirable to repeat ON/OFF in several second cycle and to set a duty ratio about to 0.1 to 0.5 moreover.

[0061] Thereby, even if it makes [many / even to 75wt(s)% / from 60wt(s)%] the presentation ratio of Fe occupied on the nickel-Fe alloy film, the diameter of average crystal grain of said nickel-Fe alloy film is made to 105Å or less, and, specifically, it becomes possible to set the center line average of roughness height as 25Å or less further.

[0062] In this invention, plating formation of the nickel-Fe alloy film was carried out by the electroplating method which used pulse current as an example, and by the electroplating method using a direct current as an example of a comparison, plating formation of the nickel-Fe alloy film was carried out, and the relation between the presentation ratio of Fe in each nickel-Fe alloy film and saturation magnetic flux density M_s and the relation between the presentation ratio of Fe and coercive force H_c were investigated.

[0063] Drawing 2 is a graph which indicates relation with saturation magnetic flux density M_s to be the presentation ratio of Fe in the nickel-Fe alloy film (example) by which plating formation was carried out by the electroplating method which used pulse current, and the nickel-Fe alloy film (example of a comparison) by which plating formation was carried out by the electroplating method using a direct current.

[0064] In the experiment, the presentation ratio of Fe occupied from the plating bath which has Fe ion and nickel ion on the nickel-Fe alloy film by which plating formation was carried out by carrying out plating formation of the nickel-Fe alloy film, and changing the presentation ratio of Fe ion occupied during a plating bath by passing fixed pulse current or a fixed direct current is changed.

[0065] In the case of the electroplating method using a direct current, as shown in drawing 2, when the presentation ratio of Fe is enlarged to about abbreviation 67wt%, it turns out that saturation magnetic flux density M_s becomes high, it is max and said saturation magnetic flux density M_s can be made high with the increment in a presentation ratio at about 1.8T.

[0066] However, in the case of the electroplating method using a direct current, it turns out that it does not become higher [saturation magnetic flux density M_s] as for more than 67wt% than 1.8T about the presentation ratio of Fe.

[0067] On the other hand, in the case of the electroplating method using pulse current, it turns out that saturation magnetic flux density M_s is high by the rate of increase as the case where electroplating is carried out using a direct current with the presentation ratio of Fe almost same [67wt(s)%], from about 60 wt(s)%.

[0068] However, if electroplating is carried out using pulse current, even if the presentation ratio of Fe will become more than abbreviation 67wt%, when the saturation magnetic flux density M_s of the nickel-Fe alloy film continues going up and said presentation ratio of Fe is made large even to about abbreviation 75wt%, it turns out that saturation magnetic flux density M_s becomes high even to about 1.9T at the maximum.

[0069] Thus, the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film can raise saturation magnetic flux density M_s as for more than abbreviation 67wt% by carrying out electroplating using pulse current.

[0070] Drawing 3 is a graph which indicates relation with coercive force H_c to be the presentation ratio of Fe occupied on the nickel-Fe alloy film.

[0071] Also in this experiment, the presentation ratio of Fe occupied from the plating bath which has Fe ion and nickel ion on the nickel-Fe alloy film by which plating formation was carried out by carrying out plating formation of the nickel-Fe alloy film, and changing the presentation ratio of Fe ion occupied during a plating bath by passing fixed pulse current or a fixed direct current is changed.

[0072] If the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film is made into less than [abbreviation 62wt%] in the case of the electroplating method using a direct current as shown in drawing 3, coercive force H_c can be maintained at the low value of about 0.5 or less Oes, but when said presentation ratio of Fe is carried out more than abbreviation 62wt%, it turns out that coercive force H_c begins to go up rapidly. And when said coercive force H_c will be set to 1.0 or

more Oes if the presentation ratio of Fe becomes more than abbreviation 65wt%, and the presentation ratio of Fe becomes more than abbreviation 67wt% further, it turns out that 1.5Oe is exceeded.

[0073] on the other hand, the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film in the case where electroplating is carried out using pulse current — about 63 — although coercive force Hc will once go up if it carries out more than wt% — the presentation ratio of Fe — about 75 — even if it makes it large even to about wt%, it turns out that it is possible to keep said coercive force Hc at 1.0 or less Oes.

[0074] It is thought that the R/C of the coercive force Hc over the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film can be made small compared with the case where the direction at the time of carrying out electroplating using pulse current carries out electroplating using a direct current so that clearly from drawing 3 because the diameter of crystal grain of the nickel-Fe alloy film can be made small compared with the case where the direction at the time of carrying out electroplating using pulse current carries out electroplating using a direct current.

[0075] Since the blank time amount which does not pass a current at the time of plating formation is established in the case where pulse current is used, even if it enlarges concentration of Fe ion of a plating bath and enlarges the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film, the bias of distribution at the time of plating formation of current density is eased, and it is hard to make the diameter of crystal grain big and rough, and hard to be generated in an opening in the plating film.

[0076] On the other hand, in the case where a direct current is used, if the concentration of Fe ion under plating bath is increased and electroplating of the plating formation is carried out using a direct current in order to increase the presentation ratio of Fe, a bias occurs in distribution of the current density to the nickel-Fe alloy film at the time of plating formation, and a current will flow continuously intensively to a certain plating side. And the bias of such current distribution becomes the cause of promoting big and rough-ization of the diameter of crystal grain, and when said diameter of crystal grain makes it big and rough, an opening becomes easy to produce it in the plating film.

[0077] Although the problem of big-and-rough-izing of the diameter of crystal grain also affects saturation magnetic flux density Ms, if the presentation ratio of Fe is enlarged even when electroplating of it is carried out using a direct current as shown in drawing 2 since said especially saturation magnetic flux density Ms is greatly influenced by the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film, it can raise said saturation magnetic flux density Ms comparatively.

[0078] However, coercive force Hc understands that it is impossible to reduce coercive force Hc at the same time it raises saturation magnetic flux density Ms as it is the approach of coercive force Hc going up rapidly and carrying out electroplating using a direct current in this way by big and rough-ization of the diameter of crystal grain by raising the presentation ratio of Fe, when big effect is received in the diameter of crystal grain of the nickel-Fe alloy film, especially carries out electroplating using a direct current.

[0079] It is desirable by referring to drawing 2 and drawing 3 in this invention to set the presentation ratio of Fe which carries out plating formation of the nickel-Fe alloy film by the electroplating method using pulse current, and is occupied in said nickel-Fe alloy film in this case as 60wt% to 75wt(s)% of within the limits. As this shows drawing 2, it is possible to be able to carry out saturation magnetic flux density Ms more than 1.6T, and to make it desirable more than 1.8T.

[0080] Moreover, as shown in drawing 3, it becomes possible to keep coercive force Hc at 1.0 or less Oes, but said especially coercive force Hc receives big effect in the magnitude of not only the presentation ratio of Fe but the diameter of crystal grain, as mentioned above.

[0081] So, in this invention, the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film was set up to 72wt(s)%, and it investigated about the relation of the diameter of average crystal grain of said nickel-Fe alloy film and coercive force Hc at the time of changing and carrying out electroplating of the conditions of pulse current. In addition, the diameter of average crystal grain is the value measured from the diffraction profile half-value width of an X diffraction.

[0082] As shown in drawing 4, when the diameter of average crystal grain becomes large shows

that coercive force H_c goes up. And in this invention, said diameter of average crystal grain was set as 105A or less from the experimental result shown in drawing 4. Thereby, it turns out that coercive force H_c can be kept at 1.5 or less Oes. Moreover, if said diameter of average crystal grain is made into 100A or less, it turns out that said coercive force H_c can be set as 1.0 or less Oes.

[0083] Moreover, said coercive force H_c has the need of rationalizing said center line average of roughness height (Ra), in order to receive effect in the center line average of roughness height (Ra) of not only rationalization of the diameter of crystal grain but a film surface, and to close the fall of said coercive force H_c , if.

[0084] So, in this invention, the presentation ratio of Fe occupied in the nickel-Fe alloy film was set up to 72wt(s)%, and it investigated about the relation of the center line average of roughness height (Ra) of said nickel-Fe alloy film and coercive force H_c at the time of changing and carrying out electroplating of the conditions of pulse current.

[0085] As shown in drawing 5, when the center line average of roughness height (Ra) of a film surface becomes large, it turns out that coercive force H_c becomes large.

[0086] And in this invention, said center line average of roughness height (Ra) was set as 25A or less from the experimental result shown in drawing 5. Thereby, it turns out that coercive force H_c can be kept at 1.5 or less Oes. Moreover, if said center line average of roughness height (Ra) is made into 15A or less, it turns out that said coercive force H_c can be set as 1.0 or less Oes.

[0087] The diameter of average crystal grain is set as 105A or less for said presentation ratio of Fe at 60wt(s)% to 75wt(s)% of within the limits, carrying out plating formation of the nickel-Fe alloy by this invention by the electroplating method which used pulse current from the experimental result shown in drawing 2 thru/or drawing 5 above, and keeping pulse conditions etc. proper. It is desirable to set the center line average of roughness height as 25A or less by this invention furthermore. Thereby, saturation magnetic flux density M_s is made more than 1.6T, and coercive force H_c can be set as 1.5 or less Oes.

[0088] Moreover, it is more desirable to carry out the presentation ratio of Fe more than 67wt% in this invention. Thereby, saturation magnetic flux density M_s can be set up more than 1.8T.

[0089] It is desirable to make the diameter of average crystal grain into 100A or less, and to make the center line average of roughness height into 15A or less further by this invention, furthermore. It enables this to set coercive force H_c as 1.0 or less Oes.

[0090]

[Effect of the Invention] In this invention explained in full detail above, while saturation magnetic flux density M_s can be raised by an empirical formula's making the diameter of average crystal grain of the soft magnetism film expressed with nickel1-XFeX 105A or less, and moreover setting the presentation ratio X of Fe as 60wt% to 75wt(s)% of within the limits, it becomes possible to make coercive force H_c low. In addition, setting the center line average of roughness height of a film surface as 25A or less can reduce coercive force H_c certainly, and it is desirable.

[0091] If plating formation of the nickel-Fe alloy film is carried out by the electroplating method using pulse current, it will become possible to set up appropriately within limits which described above the diameter of average crystal grain, the presentation ratio of Fe, and the center line average of roughness height.

[0092] As mentioned above, if the nickel-Fe alloy film which has many soft magnetic characteristics of the high saturation magnetic flux density M_s and the low coercive force H_c is used for the up core layer and/or lower core layer of the thin film magnetic head, the thin film magnetic head which can respond to a raise in future recording density and high-frequency-ization can be manufactured.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing of longitudinal section of the thin film magnetic head of the operation gestalt of this invention,

[Drawing 2] The graph which shows the relation of the presentation ratio of Fe and saturation magnetic flux density M_s at the time of forming the nickel-Fe alloy film by the case where the nickel-Fe alloy film is formed by the electroplating method using pulse current, and the electroplating method using a direct current,

[Drawing 3] The graph which shows the relation of the presentation ratio of Fe and coercive force H_c at the time of forming the nickel-Fe alloy film by the case where the nickel-Fe alloy film is formed by the electroplating method using pulse current, and the electroplating method using a direct current,

[Drawing 4] The graph which shows the relation of the diameter of average crystal grain of the nickel-Fe alloy film and coercive force H_c by which plating formation was carried out by the electroplating method using pulse current,

[Drawing 5] The graph which shows the relation of the center line average of roughness height of the nickel-Fe alloy film and coercive force H_c by which plating formation was carried out by the electroplating method using pulse current,

[Description of Notations]

1 Lower Shielding Layer

2 Lower Gap Layer

3 Magneto-resistive Effect Component Layer

4 Up Gap Layer

5 Lower Core Layer

6 Magnetic Gap Layer

7 Nine Insulating layer

8 Coil Layer

10 Up Core Layer

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

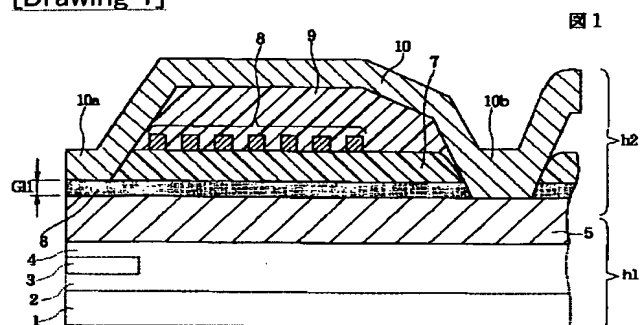
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

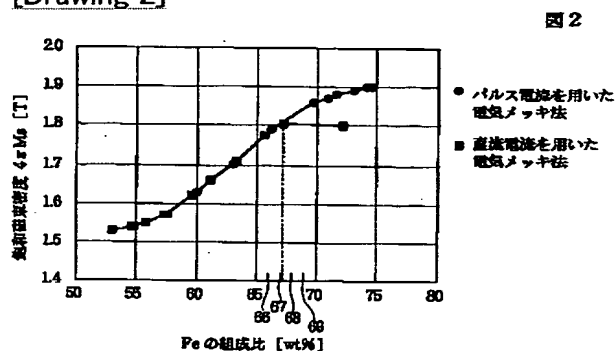
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

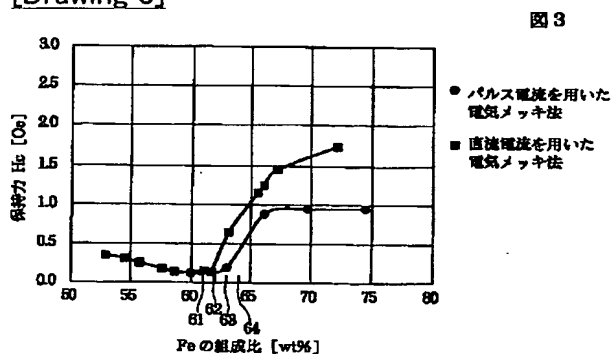
[Drawing 1]



[Drawing 2]

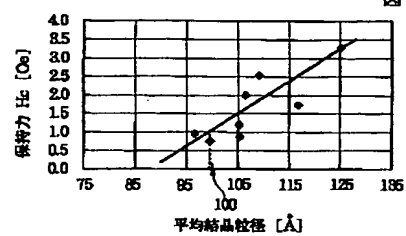


[Drawing 3]



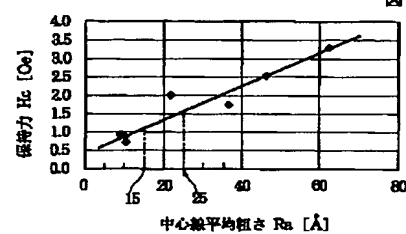
[Drawing 4]

図 4



[Drawing 5]

図 5



[Translation done.]

(11)特許出願公開番号:

特開2001-6931

(P2001-6931A)

(43)公開日 平成13年1月12日(2001.1.12)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

FI

「テ-マ-ト」(参考)

H01F 10/14

H0 1 F 10/14

5 D 0 3 3

G 1 1 B 5/31

G 1 1 B 5/31

C 5E049

H O 1 F 41/26

H01F 41/26

審査請求 有 請求項の数17 OL (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平11-173895

(22)出願日 平成11年6月21日(1999.6.21)

(71)出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 矢澤 久幸

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(72)発明者 金田 吉弘

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74) 代理人 100085453

井理士 野▲崎▼ 照夫

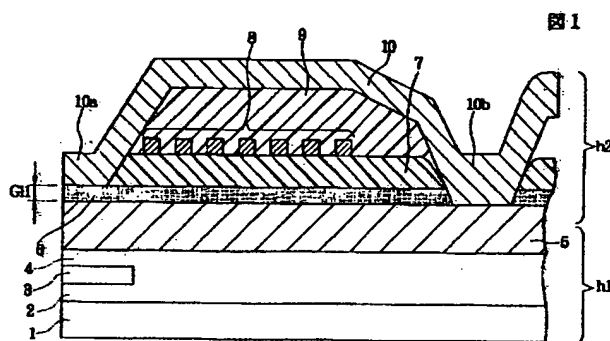
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 軟磁性膜及びその製造方法、ならびにこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 下部コア層及び上部コア層として使用されるNiFe合金膜は、従来では、直流電流を用いた電気メッキ法により、メッキ形成されていたが、この方法であると、飽和磁束密度を上昇させて、なおかつ保磁力を低下させることが困難であった。

【解決手段】 Ni—Fe合金膜を、パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成すれば、前記Ni—Fe合金膜の平均結晶粒径を、105 Å以下にし、しかもFeの組成比を、60wt %から75wt %に設定することが可能である。このようにしてメッキ形成されたNi—Fe合金膜は、飽和磁束密度が高く、しかも比抵抗が低い。そして、前記Ni—Fe合金膜を、下部コア層5及び／または上部コア層10として使用することにより、高記録密度化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを形成することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 組成式が、 $Ni_{1-x}Fe_x$ で示され、平均結晶粒径は、105Å以下であり、しかもFeの組成比Xは、60wt%から75wt%の範囲内であることを特徴とする軟磁性膜。

【請求項2】 前記平均結晶粒径は、100Å以下である請求項1記載の軟磁性膜。

【請求項3】 前記Feの組成比は、67wt%以上である請求項1または2に記載の軟磁性膜。

【請求項4】 前記軟磁性膜の膜面の中心線平均粗さ(Ra)は25Å以下である請求項1ないし3のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項5】 前記軟磁性膜の膜面の中心線平均粗さ(Ra)は15Å以下である請求項4記載の軟磁性膜。

【請求項6】 前記軟磁性膜の飽和磁束密度Msは、1.6T以上である請求項1ないし5のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項7】 前記軟磁性膜の飽和磁束密度Msは、1.8T以上である請求項6記載の軟磁性膜。

【請求項8】 前記軟磁性膜の保磁力Hcは、1.5Oe以下である請求項1ないし7のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項9】 前記軟磁性膜の保磁力Hcは、1.0Oe以下である請求項8記載の軟磁性膜。

【請求項10】 前記軟磁性膜は、メッキにより形成されている請求項1ないし9のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項11】 組成式が、 $Ni_{1-x}Fe_x$ で示される軟磁性膜を、パルス電流を用いた電気メッキ法により、メッキ形成することを特徴とする軟磁性膜の製造方法。

【請求項12】 軟磁性膜の結晶粒径を105Å以下にし、しかもFeの組成比Xを、60wt%から75wt%で形成する請求項11記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項13】 前記平均結晶粒径を、100Å以下で形成する請求項12記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項14】 前記Feの組成比を、67wt%以上で形成する請求項12または13に記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項15】 前記軟磁性膜の膜面の中心線平均粗さ(Ra)を25Å以下で形成する請求項12ないし14のいずれかに記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項16】 前記軟磁性膜の膜面の中心線平均粗さ(Ra)を15Å以下で形成する請求項15記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項17】 磁性材料製の下部コア層と、記録媒体との対向面で前記下部コア層と磁気ギャップを介して対向する上部コア層と、両コア層に記録磁界を誘導するコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、前記上部コア層及び／または下部コア層は、請求項1ないし10のいずれかに記載された軟磁性膜により形成されることを

特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば薄膜磁気ヘッドのコア層として使用される軟磁性膜に係り、特に高飽和磁束密度Ms、低保磁力Hcの軟磁性特性を有する軟磁性膜及びその製造方法、ならびにこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】例えばハードディスクなどに搭載される磁気ヘッドには、ジンバルの先端に薄膜磁気ヘッドが設けられており、前記薄膜磁気ヘッドは、書込み用のインダクティブヘッドと、読み込み用のMRヘッドとから構成される。

【0003】前記インダクティブヘッドは、一般的に、磁性材料で形成された下部コア層及び前記下部コア層に非磁性のギャップ層を介して対向する上部コア層と、両コア層に記録磁界を誘導するためのコイル層とを有して構成される。従来では、前記上部コア層及び下部コア層は、Ni-Fe合金膜（パーマロイ）などの既存の磁性材料で形成されていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで従来では、前記Ni-Fe合金膜を、直流電流を用いた電気メッキ法によってメッキ形成していた。そして一般的には、前記Feの組成比を45～55wt%程度にしており、この場合、前記Ni-Fe合金膜の飽和磁束密度Msを、最大で1.5T（テスラ）程度にすることができる。

【0005】しかしながら、今後の高記録密度化に伴い、記録密度を向上させるためには、さらに高い飽和磁束密度Msを有する軟磁性膜が要望されている。

【0006】前記飽和磁束密度Msを向上させる方法としては、Feの組成比をさらに多くすることが考えられる。そこで従来のように、直流電流を用いた電気メッキ法によってFeの組成比を約67wt%程度まで多くしていくと、飽和磁束密度Msを約1.8T程度にまで上げられることが、後述する実験によって確認されたが、Feの組成比を67wt%より多くしても、前記飽和磁束密度Msはそれ以上大きくならないことがわかった。

【0007】しかも、直流電流を用いた電気メッキ法によってFeの組成比を約62wt%以上に多くすると、結晶粒径の粗大化が顕著になり、膜面の面荒れがひどくなってしまうことが確認された。そして、このような結晶粒径の粗大化・面荒れにより、保磁力Hcが、急激に大きくなってしまおうといった問題が発生する。

【0008】このように直流電流を用いた電気メッキ法では、Ni-Fe合金膜中に占めるFe量を多くしても、今後の高記録密度化に対応できる程度の高い飽和磁束密度Msを適切に得ることは難しく、しかもFe量を多くすることで、保磁力Hcが上昇してしまう。今後の

高記録密度化を実現するには、高い飽和磁束密度 M_s を有すると同時に、保磁力 H_c を小さくする必要性がある。

【0009】本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、特に $NiFe$ 合金の飽和磁束密度 M_s を高くできると同時に、保磁力 H_c を低くすることが可能な軟磁性膜及びその製造方法、ならびに、この軟磁性膜をコア層に使用することによって、高記録密度化・高記録周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の軟磁性膜は、組成式が $Ni_{1-x}Fe_x$ で示され、平均結晶粒径は、105Å以下であり、しかも Fe の組成比 X は、60wt%から75wt%の範囲内であることを特徴とするものである。

【0011】本発明における軟磁性膜では、前記平均結晶粒径は、100Å以下であることが好ましい。

【0012】また本発明では、前記 Fe の組成比は、67wt%以上であることが好ましい。

【0013】さらに本発明では、前記軟磁性膜の膜面の中心線平均粗さ(R_a)は25Å以下であることが好ましく、より好ましくは、15Å以下である。

【0014】上記条件の下でメッキ形成された前記軟磁性膜の飽和磁束密度 M_s は、1.6T以上であり、好ましくは、前記軟磁性膜の飽和磁束密度 M_s は、1.8T以上である。本発明によれば、前記飽和磁束密度 M_s を、最大で1.9T程度にすることが可能である。

【0015】また本発明では、前記軟磁性膜の保磁力 H_c は、1.5Oe以下であることが好ましい。より好ましくは、1.0Oe以下である。

【0016】また本発明では、前記軟磁性膜は、メッキにより形成されていることが好ましい。

【0017】また本発明における軟磁性膜の製造方法は、組成式が $Ni_{1-x}Fe_x$ で示される軟磁性膜を、パルス電流を用いた電気メッキ法により、メッキ形成することを特徴とするものである。

【0018】本発明では、前記パルス電流を用いた電気メッキ法によって、軟磁性膜の結晶粒径を105Å以下にし、しかも Fe の組成比 X を、60wt%から75wt%で形成することができる。

【0019】なお本発明では、前記平均結晶粒径を、100Å以下で形成することが好ましい。

【0020】また本発明では、前記 Fe の組成比を、67wt%以上で形成することが好ましい。

【0021】また本発明では、前記軟磁性膜の膜面の中心線平均粗さ(R_a)を25Å以下で形成することが好ましく、より好ましくは、15Å以下で形成することである。

【0022】さらに本発明は、磁性材料製の下部コア層

と、記録媒体との対向面で前記下部コア層と磁気ギャップを介して対向する上部コア層と、両コア層に記録磁界を誘導するコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、前記上部コア層及び/または下部コア層は、前述した軟磁性膜により形成されることを特徴とするものである。

【0023】本発明における軟磁性膜の組成式は、 $Ni_{1-x}Fe_x$ で示される。ここで、 Ni 及び Fe は磁性を担う元素である。

【0024】本発明では、 $Ni-Fe$ 合金膜の平均結晶粒径及び前記軟磁性膜中に占める Fe の組成比(wt%)を適性に調整することで、従来に比べて高い飽和磁束密度 M_s を確保できる。本発明によれば、前記飽和磁束密度 M_s を最大で1.9T程度にまで高くできることが後述する実験により確認されている。

【0025】しかも本発明では、飽和磁束密度 M_s を上昇させることができると同時に、保磁力 H_c をも小さくすることが可能になっている。

【0026】ただし特に保磁力 H_c は、平均結晶粒径及び Fe の組成比のみに影響を受けるのではなく、膜面の中心線平均粗さ(R_a)を適正化しないと、より確実に前記保磁力 H_c を小さくできないことが後述する実験によって確認されている。

【0027】本発明では、 $Ni-Fe$ 合金膜の平均結晶粒径を105Å以下にし、しかも膜中に占める Fe の組成比を60wt%から75wt%の範囲内に設定し、さらに膜面の中心線平均粗さ(R_a)を25Å以下にすることが好ましい。

【0028】これにより、前記軟磁性膜の飽和磁束密度 M_s は1.6T(テスラ)以上になり、好ましくは、1.8T以上の飽和磁束密度 M_s を得ることができる。しかも本発明では保磁力 H_c を1.5Oe(エルステッド)以下に、好ましくは1.0Oe以下に設定することができる。

【0029】上記のように、 Fe 量の組成比を、60wt%から75wt%に多くしても、飽和磁束密度 M_s を向上させることができると同時に保磁力 H_c を低くすることができる $Ni-Fe$ 合金膜の製造方法として本発明では、パルス電流を用いた電気メッキ法を提示することができる。

【0030】従来では、直流電流を用いた電気メッキ法を使用していたが、本発明では、直流電流に代えて、パルス電流を用いた電気メッキ法を使用することで、 Fe の組成比を多くしてもなお、平均結晶粒径及び膜面の中心線平均粗さ(R_a)を、小さくすることができ、これにより高い飽和磁束密度 M_s 及び低い保磁力 H_c を確保することが可能になる。また比抵抗も、直流電流を用いた電気メッキ法による従来の $Ni-Fe$ 合金膜と同程度に保つことができる。

【0031】以上のように、飽和磁束密度 M_s が高く、

しかも低保磁力 H_c 及び高比抵抗 ρ を保ち、さらに面荒れの小さい軟磁性膜を本発明では、薄膜磁気ヘッド（インダクティブヘッド）の下部コア層及び／または上部コア層として使用している。これにより、今後の高記録密度化・高記録周波数化にも対応することができる薄膜磁気ヘッドを製造することが可能となっている。

【0032】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。なお図1に示す薄膜磁気ヘッドの図示左側の端面が記録媒体との対向面となっている。

【0033】本発明における薄膜磁気ヘッドは、浮上式ヘッドを構成するスライダのトレーリング側端面に形成されたものであり、MRヘッドh1と、書込み用のインダクティブヘッドh2とが積層された、MR／インダクティブ複合型薄膜磁気ヘッド（以下、単に薄膜磁気ヘッドという）となっている。

【0034】MRヘッドh1は、磁気抵抗効果を利用してハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界を検出し、記録信号を読み取るものである。前記スライダのトレーリング側端面には軟磁性材料製の下部シールド層1が形成されている。

【0035】図1に示すように、前記下部シールド層1の上には、 Al_2O_3 （アルミナ）などの非磁性材料により形成された下部ギャップ層2を介して磁気抵抗効果素子層3が形成されている。なお前記磁気抵抗効果素子層3はAMR構造あるいは巨大磁気抵抗効果を利用したスピバルブ膜に代表されるGMR構造である。

【0036】前記磁気抵抗効果素子層3の上には、非磁性材料製の上部ギャップ層4を介して、MRヘッドh1におけるシールド機能と、インダクティブヘッドh2におけるコア機能とを兼ね備えた下部コア層5が形成されている。

【0037】さらに図1に示すように、前記下部コア層5の上にはアルミナなどによる磁気ギャップ層（非磁性材料層）6が形成されている。さらに前記磁気ギャップ層6の上にはポリイミドまたはレジスト材料製の絶縁層7を介して平面的に螺旋状となるようにパターン形成されたコイル層8が設けられている。なお、前記コイル層8はCu（銅）などの電気抵抗の小さい非磁性導電性材料で形成されている。

【0038】さらに、前記コイル層8はポリイミドまたはレジスト材料で形成された絶縁層9に囲まれ、前記絶縁層9の上に軟磁性材料製の上部コア層10が形成されている。

【0039】図1に示すように、前記上部コア層10の先端部10aは、記録媒体との対向面において、下部コア層5の上に前記磁気ギャップ層6を介して対向し、磁気ギャップ長 G_{ll} の磁気ギャップが形成されており、上部コア層10の基端部10bは図1に示すように、下

部コア層5と磁気的に接続されている。

【0040】今後の高記録密度化・高記録周波数化に対応でき、インダクティブヘッドh2の書込みの性能を向上させるには、特に上部コア層10の軟磁気特性を、低保磁力 H_c に保ちながら、飽和磁束密度 M_s を向上させる必要がある。また記録周波数が上昇することにより、渦電流損失を低減させるために、比抵抗 ρ をある程度高くする必要性もある。

【0041】また下部コア層5においても、高比抵抗 ρ 、及び低保磁力 H_c の諸軟磁気特性を有する軟磁性膜で形成されることが好ましい。下部コア層5の飽和磁束密度 M_s は高いことが好ましいが、上部コア層10の飽和磁束密度 M_s よりも低くすることにより、下部コア層5と上部コア層10との間における洩れ磁界を磁化反転しやすくすると、より記録媒体への信号の書込み密度を高くできることが知られている。

【0042】本発明では、下部コア層5及び／または上部コア層10として使用される軟磁性膜の組成式は、 $Ni_{1-x}Fe_x$ で示される。

【0043】しかも本発明における前記軟磁性膜は、その平均結晶粒径が105Å（オングストローム）以下に形成されている。前記平均結晶粒径は、X線回折の回折プロファイル半値幅から測定したものである。なお本発明では、前記平均結晶粒径が100Å以下であるとより好ましい。

【0044】さらに本発明では、Feの組成比 X が、60wt%から75wt%の範囲内に設定されている。なお、前記Feの組成比の範囲は、従来におけるNi-Fe合金の組成比（約55wt%）に比べて高くなっている。また本発明では、前記Feの組成比を67wt%以上にすることが好ましい。

【0045】このように本発明では、平均結晶粒径を105Å以下に微細化し、しかもFeの組成比を、60wt%から75wt%の範囲内に設定することにより、飽和磁束密度 M_s を高めることができると同時に、保磁力 H_c を低減させることが可能になっている。

【0046】また本発明では、膜面における中心線平均粗さ（Ra）を、25Å以下にすることが好ましい。前記保磁力 H_c は、平均結晶粒径及びFeの組成比のみならず、中心線平均粗さ（Ra）の値にも影響を受け、前記中心線平均粗さ（Ra）が大きくなると、保磁力 H_c が大きくなることが後述する実験によって確認されている。

【0047】そこで本発明では、Ni-Fe合金膜の平均結晶粒径及びFeの組成比のみならず、中心線平均粗さ（Ra）を、具体的には25Å以下に小さくすることで、より確実に保磁力 H_c の低下を図ることが可能になる。なお前記中心線平均粗さ（Ra）は、15Å以下に設定されることが、さらに保磁力 H_c を低減できる点で、より好ましい。

【0048】以上のように本発明では、Ni-Fe合金膜の平均結晶粒径、Ni-Fe合金膜に占めるFeの組成比(wt%)、及び膜面の中心線平均粗さ(Ra)を、上記した数値の範囲内で適性に調整することにより、前記Ni-Fe合金膜の飽和磁束密度Msを1.6T(テスラ)以上、より好ましくは1.8T以上に上昇させることができる。本発明では、特に前記飽和磁束密度Msを最大で1.9T程度にまで上昇させることが可能である。

【0049】さらに本発明では、保磁力Hcを、1.5Oe以下、好ましくは1.0Oe以下にすることが可能である。

【0050】また本発明では、後述するように、パルス電流を用いた電気メッキ法によりNi-Fe合金膜をメッキ形成しており、この方法によれば、比抵抗 ρ を $30\mu\Omega\cdot\text{cm}$ から $45\mu\Omega\cdot\text{cm}$ の範囲内に設定できる。この値は、従来のように直流電流を用いた電気メッキ法によってメッキ形成されたNi-Fe合金膜の比抵抗 ρ とほぼ同程度であり、またNi-Fe合金膜にCoを含有した軟磁性膜の比抵抗 ρ に比べて高くなっている。

【0051】このように高い飽和磁束密度Msを有し、さらに保磁力Hcを小さくすることが可能なNi-Fe合金膜を薄膜磁気ヘッドの下部コア層5及び/または上部コア層10に使用することにより、今後の高記録密度化、高記録周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することが可能である。また本発明では、比抵抗 ρ をある程度高い値に設定できるため、記録周波数が高くなることによる渦電流損失の低減を適切に図ることも可能である。

【0052】また本発明における軟磁性膜は、その膜面の中心線平均粗さ(Ra)が小さく、前記膜面に面荒れの発生が少ないことから、特に前記軟磁性膜で形成された上部コア層10及び/または下部コア層5を、トラック幅として規定される記録媒体との対向面(図1に示す図示左側の側面)付近で、所定形状に適正に形成しやすく、記録特性を良好なまま維持することが可能である。

【0053】ところで本発明では、Ni-Fe合金膜を、パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成しており、この方法によれば、前記Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を多くすると、それに伴い、飽和磁束密度Msを適正に高めることができ、しかも平均結晶粒径及び膜面の中心線平均粗さ(Ra)を小さい値に設定することが可能になっている。

【0054】従来では、直流電流を用いた電気メッキ法により、Ni-Fe合金膜をメッキ形成していたが、この方法であると、Ni-Fe合金膜のFe量を、ある程度にまで多くすると、飽和磁束密度Msは上昇しなくなり、しかもFe量が多くなることにより、結晶粒径が粗大化し、面荒れがひどくなる。そして、結晶粒径の粗大化・面荒れにより、保磁力Hcが大きくなってしまふ。

【0055】Ni-Fe合金膜に占めるFeの組成比の調整は、メッキ浴中に占めるFeイオンの濃度の調整により行なわれ、Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を多くするには、メッキ浴中に占めるFeイオンの濃度を大きくする必要がある。

【0056】ところが、Feの組成比を増やすためにメッキ浴中のFeイオンの濃度を増やし、メッキ形成を直流電流を用いて電気メッキすると、メッキ形成時のNi-Fe合金膜に対する電流密度の分布に偏りが発生し、あるメッキ面に電流が集中的に且つ継続して流れる。そして、このような電流分布の偏りは、結晶粒径の粗大化を促進させる原因となり、前記結晶粒径が粗大化することにより、メッキ膜内に空隙が生じやすくなる。

【0057】そこで本発明では、直流電流に代えてパルス電流を用いた電気メッキ法を使用することにして、すなわち、例えば電流制御素子のON/OFFを繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、Ni-Fe合金膜を、少しずつメッキ形成し、そしてメッキ浴に占めるFeイオンの濃度を増やしても、従来のように直流電流を用いた場合に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。

【0058】本発明では、パルス電流を用いた電気メッキ法によって、メッキ形成時における電流密度の分布の偏りを低減させることができるから、結晶粒径の粗大化を緩和でき、しかもメッキ膜中の空隙を小さくすることが可能になり、膜面における面荒れを小さくすることができる。

【0059】ただし適切にNi-Fe合金膜の結晶粒径の微細化を促進し、面荒れを抑制するためには、前記パルス電流の条件を適正化する必要がある。

【0060】例えば前記パルス電流は、数秒サイクルでON/OFFを繰返し、しかもデューティ比を、0.1から0.5程度に設定することが好ましい。

【0061】これにより具体的には、Ni-Fe合金膜に占めるFeの組成比を60wt%から75wt%にまで多くしても、前記Ni-Fe合金膜の平均結晶粒径を105Å以下にでき、さらに中心線平均粗さを25Å以下に設定することが可能になる。

【0062】本発明では、実施例としてパルス電流を用いた電気メッキ法により、Ni-Fe合金膜をメッキ形成し、及び比較例として直流電流を用いた電気メッキ法により、Ni-Fe合金膜をメッキ形成して、各Ni-Fe合金膜におけるFeの組成比と、飽和磁束密度Msとの関係、及びFeの組成比と保磁力Hcとの関係を調べた。

【0063】図2は、パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたNi-Fe合金膜(実施例)と、直流電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成さ

れたNi-Fe合金膜(比較例)におけるFeの組成比と、飽和磁束密度 M_s との関係を示すグラフである。

【0064】実験では、FeイオンとNiイオンを有するメッキ浴から、一定のパルス電流あるいは、一定の直流電流を流すことによってNi-Fe合金膜をメッキ形成し、メッキ浴中に占めるFeイオンの組成比を変えることにより、メッキ形成されたNi-Fe合金膜に占めるFeの組成比を変化させている。

【0065】図2に示すように、直流電流を用いた電気メッキ法の場合では、Feの組成比を約67wt%程度まで大きくすると、組成比の増加に伴って、飽和磁束密度 M_s は高くなり、前記飽和磁束密度 M_s を最大で、約1.8T程度にまで高くできることがわかる。

【0066】ところが、直流電流を用いた電気メッキ法の場合、Feの組成比を67wt%以上にしても、飽和磁束密度 M_s は1.8Tよりも高くないことがわかる。

【0067】一方、パルス電流を用いた電気メッキ法の場合、Feの組成比が、約60wt%から67wt%までは、直流電流を用いて電気メッキした場合とほぼ同じ増加率で、飽和磁束密度 M_s は高くなっていることがわかる。

【0068】ところが、パルス電流を用いて電気メッキすると、Feの組成比が約67wt%以上になっても、Ni-Fe合金膜の飽和磁束密度 M_s は上昇し続け、前記Feの組成比を約75wt%程度にまで大きくすると、飽和磁束密度 M_s は、最大で1.9T程度にまで高くなることがわかる。

【0069】このように、パルス電流を用いて電気メッキすることにより、Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を約67wt%以上にしても、飽和磁束密度 M_s を上昇させることができる。

【0070】図3は、Ni-Fe合金膜に占めるFeの組成比と、保磁力 H_c との関係を示すグラフである。

【0071】この実験においても、FeイオンとNiイオンを有するメッキ浴から、一定のパルス電流あるいは、一定の直流電流を流すことによってNi-Fe合金膜をメッキ形成し、メッキ浴中に占めるFeイオンの組成比を変えることにより、メッキ形成されたNi-Fe合金膜に占めるFeの組成比を変化させている。

【0072】図3に示すように、直流電流を用いた電気メッキ法の場合、Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を、約62wt%以下にすると、保磁力 H_c を、約0.5Oe以下の低い値に保つことができるが、前記Feの組成比を約62wt%以上にすると、保磁力 H_c は急激に上昇し始めることがわかる。そして前記保磁力 H_c は、Feの組成比が約65wt%以上になると、1.0Oe以上になり、さらにFeの組成比が約67wt%以上になると、1.5Oeを越えてしまうことがわかる。

【0073】これに対し、パルス電流を用いて電気メッキした場合では、Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を約63wt%以上にすると、保磁力 H_c は一旦上昇するが、Feの組成比を約75wt%程度にまで大きくしても、前記保磁力 H_c を1.0Oe以下に保つことが可能であることがわかる。

【0074】図3から明らかなように、パルス電流を用いて電気メッキした場合の方が、直流電流を用いて電気メッキした場合に比べ、Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比に対する保磁力 H_c の上昇率を小さくできるのは、パルス電流を用いて電気メッキした場合の方が、直流電流を用いて電気メッキした場合に比べ、Ni-Fe合金膜の結晶粒径を小さくできるためであると考えられる。

【0075】パルス電流を用いた場合では、メッキ形成時に電流を流さない空白な時間が設けられるために、メッキ浴のFeイオンの濃度を大きくし、Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を大きくしても、メッキ形成時に電流密度の分布の偏りは緩和され、結晶粒径は粗大化しにくく、メッキ膜中に空隙は生じにくい。

【0076】これに対し、直流電流を用いた場合では、Feの組成比を増やすためにメッキ浴中のFeイオンの濃度を増やし、メッキ形成を直流電流を用いて電気メッキすると、メッキ形成時のNi-Fe合金膜に対する電流密度の分布に偏りが発生し、あるメッキ面に電流が集中的に且つ継続して流れる。そして、このような電流分布の偏りは、結晶粒径の粗大化を促進させる原因となり、前記結晶粒径が粗大化することにより、メッキ膜内に空隙が生じやすくなる。

【0077】結晶粒径の粗大化の問題は、飽和磁束密度 M_s にも影響を及ぼすが、前記飽和磁束密度 M_s は、特にNi-Fe合金膜中に占めるFeの組成比に大きく影響されるため図2に示すように、直流電流を用いて電気メッキした場合でも、Feの組成比を大きくすれば、比較的、前記飽和磁束密度 M_s を高めることはできる。

【0078】しかしながら保磁力 H_c は、Ni-Fe合金膜の結晶粒径に大きな影響を受け、特に直流電流を用いて電気メッキした場合に、Feの組成比を上昇させることによる結晶粒径の粗大化により、保磁力 H_c は急激に上昇してしまい、このように直流電流を用いて電気メッキする方法であると、飽和磁束密度 M_s を高めると同時に、保磁力 H_c を低減させることは不可能であることがわかる。

【0079】本発明では、図2及び図3を参照することにより、Ni-Fe合金膜をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成し、この場合、前記Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を、60wt%から75wt%の範囲内に設定することが好ましい。これにより図2に示すように、飽和磁束密度 M_s を、1.6T以上にすることができ、好ましくは、1.8T以上にすること

とが可能である。

【0080】また図3に示すように、保磁力 H_c を、1.0 Oe以下に保つことが可能になるが、特に前記保磁力 H_c は、前述したように、Feの組成比のみならず、結晶粒径の大きさに大きな影響を受ける。

【0081】そこで本発明では、Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を72wt%に設定し、パルス電流の条件を変えて電気メッキした場合における前記Ni-Fe合金膜の平均結晶粒径と保磁力 H_c との関係について調べた。なお平均結晶粒径とは、X線回折の回折プロフィール半値幅から測定した値である。

【0082】図4に示すように、平均結晶粒径が大きくなることにより、保磁力 H_c は上昇することがわかる。そして本発明では図4に示す実験結果から、前記平均結晶粒径を105Å以下に設定した。これにより保磁力 H_c を1.5 Oe以下に保つことができることがわかる。また前記平均結晶粒径を、100Å以下にすれば、前記保磁力 H_c を1.0 Oe以下に設定できることがわかる。

【0083】また前記保磁力 H_c は、結晶粒径の適正化のみならず、膜面の中心線平均粗さ(Ra)にも影響を受け、前記保磁力 H_c の低下を確実にしめるには、前記中心線平均粗さ(Ra)を適正化する必要がある。

【0084】そこで本発明では、Ni-Fe合金膜中に占めるFeの組成比を72wt%に設定し、パルス電流の条件を変えて電気メッキした場合における前記Ni-Fe合金膜の中心線平均粗さ(Ra)と保磁力 H_c との関係について調べた。

【0085】図5に示すように膜面の中心線平均粗さ(Ra)が大きくなると、保磁力 H_c は大きくなることがわかる。

【0086】そして本発明では図5に示す実験結果から、前記中心線平均粗さ(Ra)を25Å以下に設定した。これにより保磁力 H_c を1.5 Oe以下に保つことができることがわかる。また前記中心線平均粗さ(Ra)を、15Å以下にすれば、前記保磁力 H_c を1.0 Oe以下に設定できることがわかる。

【0087】以上図2ないし図5に示す実験結果から、本発明では、Ni-Fe合金を、パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成し、パルス条件等を適正に保ちながら、前記Feの組成比を60wt%から75wt%の範囲内に、平均結晶粒径を105Å以下に設定している。さらに本発明では、中心線平均粗さを25Å以下に設定することが好ましい。これにより、飽和磁束密度 M_s を、1.6 T以上にでき、また保磁力 H_c を1.5 Oe以下に設定することができる。

【0088】また本発明では、Feの組成比を67wt%以上にすることがより好ましい。これにより飽和磁束密度 M_s を1.8 T以上に設定することができる。

【0089】さらに本発明では、平均結晶粒径を、10

0Å以下にし、さらに中心線平均粗さを15Å以下にすることが好ましい。これにより保磁力 H_c を1.0 Oe以下に設定することが可能になる。

【0090】

【発明の効果】以上詳述した本発明では、組成式が $Ni_{1-x}Fe_x$ で表される軟磁性膜の平均結晶粒径を105Å以下にし、しかもFeの組成比 x を、60wt%から75wt%の範囲内に設定することにより、飽和磁束密度 M_s を高めることができると同時に、保磁力 H_c を低くすることが可能になる。なお膜面の中心線平均粗さを、25Å以下に設定することが、保磁力 H_c を確実に低減できて好ましい。

【0091】パルス電流を用いた電気メッキ法により、Ni-Fe合金膜をメッキ形成すれば、平均結晶粒径、Feの組成比及び中心線平均粗さを上記した範囲内に適切に設定することが可能になる。

【0092】以上、高飽和磁束密度 M_s 及び低保磁力 H_c の諸軟磁気特性を有するNi-Fe合金膜を、薄膜磁気ヘッドの上部コア層及び/または下部コア層に使用すれば、今後の高記録密度化、高周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図2】パルス電流を用いた電気メッキ法により、Ni-Fe合金膜を形成した場合と、直流電流を用いた電気メッキ法により、Ni-Fe合金膜を形成した場合におけるFeの組成比と飽和磁束密度 M_s との関係を示すグラフ、

【図3】パルス電流を用いた電気メッキ法により、Ni-Fe合金膜を形成した場合と、直流電流を用いた電気メッキ法により、Ni-Fe合金膜を形成した場合におけるFeの組成比と保磁力 H_c との関係を示すグラフ、

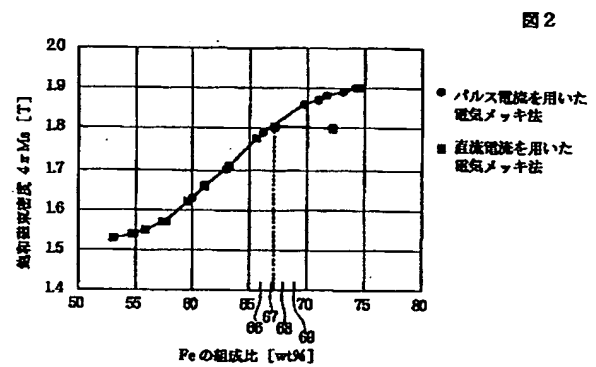
【図4】パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたNi-Fe合金膜の平均結晶粒径と保磁力 H_c との関係を示すグラフ、

【図5】パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたNi-Fe合金膜の中心線平均粗さと保磁力 H_c との関係を示すグラフ、

【符号の説明】

- 1 下部シールド層
- 2 下部ギャップ層
- 3 磁気抵抗効果素子層
- 4 上部ギャップ層
- 5 下部コア層
- 6 磁気ギャップ層
- 7、9 絶縁層
- 8 コイル層
- 10 上部コア層

【図 2】



【図4】

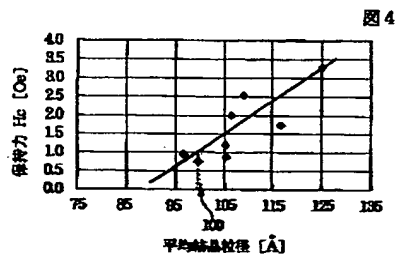
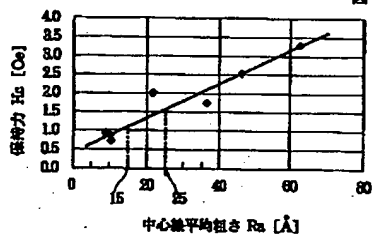


圖 5



Fターム(参考) 5D033 BA03
5E049 AA01 AA09 BA12 LC06